CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Monitoring Equipment for Mining-Induced Stresses at Niobec Mine

G. Herget and F. Kapeller
Canadian Mine Technology Laboratory
Mining Research Laboratories

MICROMEDIA

CANMET Special Report SP89-3E

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

Canada

THE ENERGY OF OUR RESOURCES · THE POWER OF OUR IDEAS

L'ENERGIE DE NOS RESSOURCES · NOTRE FORCE CREATRICE

Monitoring Equipment for Mining-Induced Stresses at Niobec Mine

G. Herget and F. Kapeller
Canadian Mine Technology Laboratory
Mining Research Laboratories

CANMET Special Report
SP89-3E

October 1989

© Minister of Supply and Services Canada 1990

Available in Canada through

Authorized Bookstore Agents
and other bookstores

or by mail from

Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

Catalogue No. M38-15/1989-3E
ISBN 0-660-55787-8

90-07111/

Monitoring Equipment for Mining-Induced Stresses at Niobec Mine

by

G. Herget* and F. Kapeller**

Summary

The need to monitor the effect of changes in ground stresses from mining in hard rock has existed for many years. CANMET's Mining Research Laboratories (MRL) has developed a new tool that monitors, with high precision, the radial deformation in boreholes. MRL's strain monitoring system uses the stable and very sensitive vibration wire principle to monitor deformations in relatively large boreholes, for example, 76 to 153 mm (2.98 to 6 in.) in diameter.

The CANMET unit consists of a relatively large calibrated proving ring across which a vibrating wire is strung; the wire vibrates at a frequency of 600 to 1800 Hz.

The ring is installed with a hydraulic tool and brought into contact with the surrounding rock through precisely machined and guided wedges. The resolution of the system is better than 4×10^{-4} mm/Hz. Data can be collected with a portable readout unit or continuous data logging systems.

The system was tested in cooperation with the Centre de recherches minérales at the Niobec Mine in Quebec. The test monitored the effects of drill drift development on surrounding ground stresses.

First, 153 mm (6 in.) diameter holes were drilled to determine in situ ground stresses. These holes were then used to install the MRL strain monitoring system. Stope C-203-13 clearly demonstrated the effect of drill drift development and production blasting on ground stress distribution.

The horizontal relaxation that occurred because of mining was measured at three sites in the centre of pillars from 0.082 to 0.111 mm (0.003 to 0.004 in.). Calculations of stresses from these deformations indicated that the rock material is still in an elastic condition.

Roctest of Montreal has obtained a licence for the manufacturing and distribution rights. A patent has been registered, and CANMET will help to install the MRL strain monitoring system and to interpret the records.

Key words: induced stresses, high-precision monitoring, borehole strains.

---

*Research Scientist and **Technician, Canadian Mine Technology Laboratory, Mining Research Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, Ontario K1A 0G1.

Contents

Summary i
Introduction 1
MRL Strain Monitoring System 1
The Vibrating Wire Sensor 1
Laboratory Calibration 2
Installation System 2
Readout System 3
Field Experience 3
Reaction of Mine Pillar T-213-13 3
Reaction of Drill Drift Pillar 4
Discussion 4
Acknowledgements 4
References 4

Figures

1. MRL strain monitoring system 5
2. Calibration curve for strain sensor 5
3. Installation-retrieval tool 6
4. Blasting sequence for C-203-15 and C-203-13 stopes on 850 level 7
5. Field records of strain monitoring 8

Introduction

The monitoring of elastic deformation of excavation walls during mining activities has, for many years, suffered because of the lack of instruments reliable and sensitive enough to record the rather minute deformations in hard rock.

The Mining Research Laboratories (MRL) has developed a relatively stiff ring, set in 76 to 153 mm (2.98 to 6 in.) diameter holes. The ring is based on the long-term performance of vibrating wire sensors. The following sections describe the mechanical assembly of the MRL strain ring and the peripheral equipment required for installation and readout. Also included is a brief performance report on the equipment.

MRL Strain Monitoring System

Figure 1 shows the MRL strain monitoring system. It consists of the vibrating wire sensor and a readout unit.

The Vibrating Wire Sensor

The vibrating wire sensor consists of a steel ring that carries a vibrating wire with exciter unit to read the resonant frequency of the wire. This resonant frequency changes as the ring is deformed; the wire, in turn, is either stretched or shortened.

Because the exciter unit and readout system are stable to 1 Hz, they can detect deformations of 0.0004 mm (0.00001 in.). For a large borehole with a 153 mm (6 in.) diameter, the resolution is 0.000003 strain. These boreholes are routinely used in overcoring tests for determining ground stresses. The sensor is a deformation monitoring device, but it can be calibrated to monitor load or stresses for specific rock types.

The vibrating wire is a high-strength piano wire firmly clamped into the proving ring. It must be clamped so that the wire vibrates cleanly and no creep occurs at the clamping points. The pull on the piano wire lies typically between 22 and 66 N (5 and 15 lb).

The MRL strain rings use mechanical clamping.

The dimensions of the proving ring were determined using a number of closed form solutions and finite element analysis. The intent was to achieve the following:

1. high contact pressures for reliable readings and blast vibration resistance;
2. uniform deformation properties of the installed sensor (e.g., to avoid twisting or misaligning);
3. ring stiffness below rock stiffness;
4. vibrating wire deformation below yield point of piano wire;
5. resolution for monitoring elastic deformation in hard rock (e.g., more than 0.001 mm/Hz); and
6. generous dimensions to allow recovery of units after use.

The most quantitative results were obtained by finite element analysis. For an installation in a 153 mm (6 in.) diameter hole, an outside diameter of 127 mm (5 in.) and an inside diameter of 89 mm (3.5 in.) were chosen. A hardened steel ring was expected to deform by about 0.38 mm (0.015 in.) under a load of 50 kN (11 240 lb). A seating pressure of about 18 kN (4047 lb) would change the vibrating wire frequency by about 200 Hz.

The high seating forces proved beneficial. They made firm contact in the drill hole by crushing minor asperities in the drill hole wall and made the installation resistant to high blast acceleration forces.

Figure 1 shows two grooves machined into the proving ring, which are located on a diameter. The machined grooves, which have a taper of about 3°, accept complimentary wedges. During movement of the wedges along the proving ring, the outer surface of the wedges remains parallel to the borehole axis. Figure 1 shows the dimensions for the wedges and the grooves. An installing tool, described in a following section, activates these wedges. High seating pressures and precise guidance for the contact wedges ensure that the rings perform on site as calibrated in the laboratory.

Laboratory Calibration

To check the assumptions and calculations, a hardened steel ring was built by CANMET's Technical Services Division and tested by MRL. An exciter unit was installed to vibrate the wire and pick up its resonant frequency. This exciter unit is described in a separate report.

This prototype ring was subjected to a load of 50 kN (11 240 lb) and deformed about 0.25 mm (0.01 in.) across the diameter. Figure 2 shows the calibration obtained for the vibrating wire strain ring.

Installation System

A hydraulic piston installs the ring. The piston activates a pushbar and pushes the wedges along the grooves as two metal arms hold the vibrating wire in place. Countersunk flathead screws connect the metal arms to the ring. When the required seating pressure is reached, these metal screws are sheared and the ring disconnects from the installing tool. The installing tool can then be retrieved. The seating pressure required for the rings determines the material and diameter of the attachment screws. Brass screws have been used successfully in many cases. Figure 3 shows the installing tool.

The way the rings are seated, and their large dimensions, mean the vibrating wire can be recovered after use. For this purpose, the arms on the installing tool are equipped with a key for connection to the wedges of an installed ring. The spacer that replaces the pushbar acts on the steel ring. By activating the hydraulic pressure pump, the wedges are retracted while the ring is held in place. After the wedges are loosened, the ring can be pulled using the connecting lead wire. These rings can be recalibrated in the laboratory and re-installed somewhere else.

A long drill steel pushed hard against the ring is a simpler way to recover the sensors. This will drive the ring off the wedges. The ring, as before, can be retrieved by pulling on the lead wire.

Readout System

The oscillator circuit used to vibrate the wire is enclosed within the ring. The power consumption for continuous oscillation is less than 30 mA. A portable readout unit, only slightly larger than a pocket calculator, provides the frequency readout (Figure 1). Commercial data logging units, like the Grant Squirrel 1201 (42 k storage capacity), have been used successfully to record readings at Inco's Creighton mine for many weeks.

The exciter unit, the readout and the signal conditioning unit for automatic data logging were originally built by MRL's Instrumentation Section.

A new data logger that can read four frequency channels was recently built by Richard Brancker Research Ltd. of Ottawa. This unit is housed in a metal pipe 58 mm (2.25 in.) in diameter and 533 mm (21 in.) long. The unit is inside the instrumented borehole and is waterproof.

Field Experience

Many things work well in the laboratory but reveal weaknesses when used in a rugged environment, such as a construction or mining site.

As an experiment, six rings were installed at the Niobec Mine in drill holes of 153 mm (6 in.) diameter, which had already been used for ground stress determinations. The Niobec Mine is about 380 km (235 mi.) NNE of Montréal, Quebec. About 1500 t of ore are produced each day from a trackless blasthole open stoping operation. The mine produces niobium oxide from a carbonatite plug.

The standard pillar width is about 25 m (82 ft) followed by 25 m (82 ft) wide stopes. Stopes are up to 60 m (197 ft) long from hanging wall to footwall and stope height is 100 m (328 ft).

The rings were installed in T-213-13 pillar and in the overcut of C-203-15 stope at 850 level, about 265 m (870 ft) below surface. Figure 4 shows how the rings were installed. The objective was to see whether blasting in adjacent stopes (C-203-13) and building rooms in the overcut for setting up production drills on 850 level for stope C-203-15 would produce measurable stress changes.

Monitoring at sites 2 and 3 started on July 15, 1986, and continued until the sites disappeared in a production blast. Rings were recovered before the blast. Monitoring at site 1 continued until March 1988 in the main pillar (T-213-13).

Figure 5 shows the results of the major mining events responsible for borehole deformation. The records were unique. The instruments gave steady readings when no activity was going on in the mine and consistent responses when blasting changed the excavation geometry. Although this paper is not intended to interpret the ground deformations, a few highlights are described below.

Reaction of Mine Pillar T-213-13

The 153 mm (6 in.) diameter drill hole had one vertical and one horizontal ring installed. Both units operated throughout the monitoring period. The most significant response was observed between November 6 and 11, 1988. This showed in horizontal direction an increase of 148 Hz (= 0.053 mm) (0.002 in.) and in vertical direction an increase of 2 Hz (= 0.0008 mm) (0.00003 in.) across the diameter. This was triggered by blast No. 38 involving 18 800 t of ore in T-203-13 stope. This blast was opposite the ring locations and extended from 1000 to 850 level. It indicated a loss at the monitoring site of about 10.8 MPa (1566 psi) in horizontal confinement and 8.7 MPa (1262 psi) in the vertical direction.

Reaction of Drill Drift Pillar

Sites 2 and 3 were located in the overcut of C-203-15 stope, which was developed to set up production drilling equipment. Drill drifts were separated by pillars and the vibrating wire sensors were installed in the pillar centre lines. The most severe reaction was observed between November 26 and December 5, 1986. Rings 1 and 3 were monitoring in the horizontal direction at site 2. Ring 1 recorded an expansion of 134 Hz (= 0.054 mm) (0.0021 in.) and ring 2 recorded an expansion of 124 Hz (= 0.05 mm) (0.0019 in.). The vertical reaction at site 2 was -44 Hz (= -0.018 mm) (-0.0071 in.) compression. Examination of blasting records identified the cause: slashes 3 and 4 in the overcut of C-203-15 stope opposite the instrumentation site on the 850 level (Figure 5). These records show a relaxation of 8.4 MPa (1218 psi) in the horizontal direction and a loading of only 0.07 MPa (10 psi) in the vertical direction.

Site 3 sensors monitored only vertical deflection. Ring 4 indicated no response to slashes 3 and 4, while ring 2 indicated a vertical compression of 24 Hz (= 0.01 mm) (0.00039 in.). All rings monitoring in the vertical direction showed either constant load or relaxation as mining progressed.

Discussion

The field data obtained by the new instruments were exceptional. Calculations of deformation across the borehole diameter indicated values were well within the elastic range. Relaxation in the horizontal direction was immediate and corresponded directly to the loss of confinement. No consistant loading was observed for the vertical direction as mining progressed. This is contrary to the stress changes expected from the tributary area. It also shows that the three-dimensional stress redistribution is more complex than that deduced by tributary area. The present measuring directions are, however, not sufficient to define the stress changes in three dimensions.

Acknowledgements

This study was part of a rock mechanics research project carried out in connection with the Centre de recherches minérales and Niobec Mine. The authors very much appreciated the cooperation of Niobec staff and their conscientious recording of field readings and mining activity. Without this effort, this database would not exist today.

References

Arjang, B. *Field stress determinations at the Niobec Mine, Chicoutimi, Quebec*. Division Report M&ET/MRL 87-15 (TR).

Gagnon, G. and L.A. Gendron. "The geology and current development of the St. Honoré Niobium (Columbium) deposits." *79th Annual General Meeting CIM*. April 20, 1977.

Herget, G. and F. Kapeller. *Monitoring of borehole deformation at Niobec Mine: a progress report*. Division Report MRL 87-6 (TR).

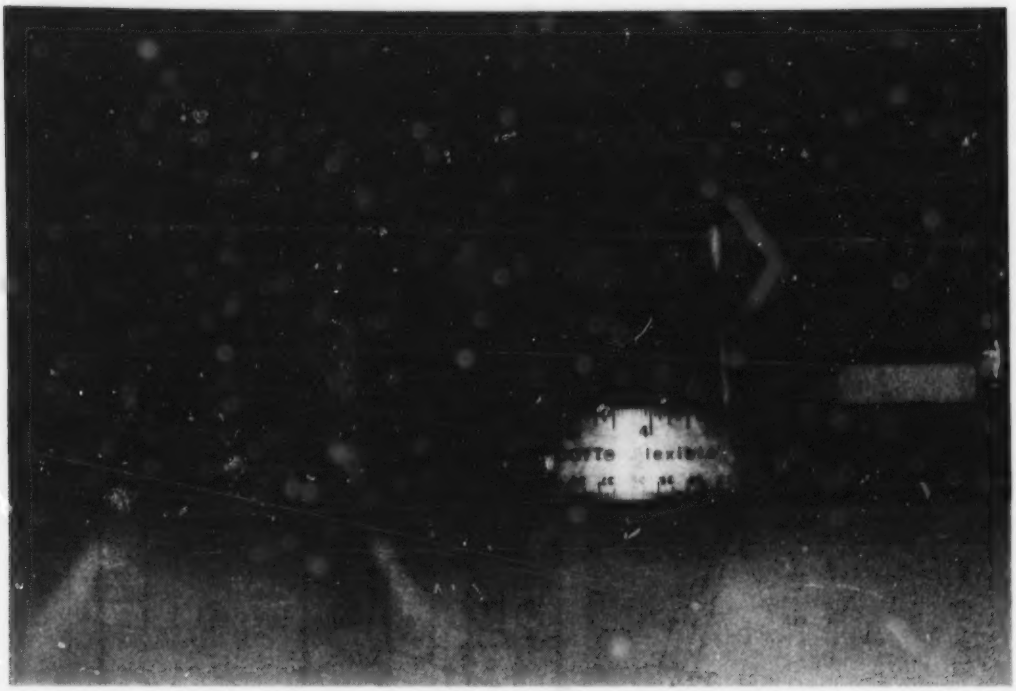

Figure 1: MRL strain monitoring system

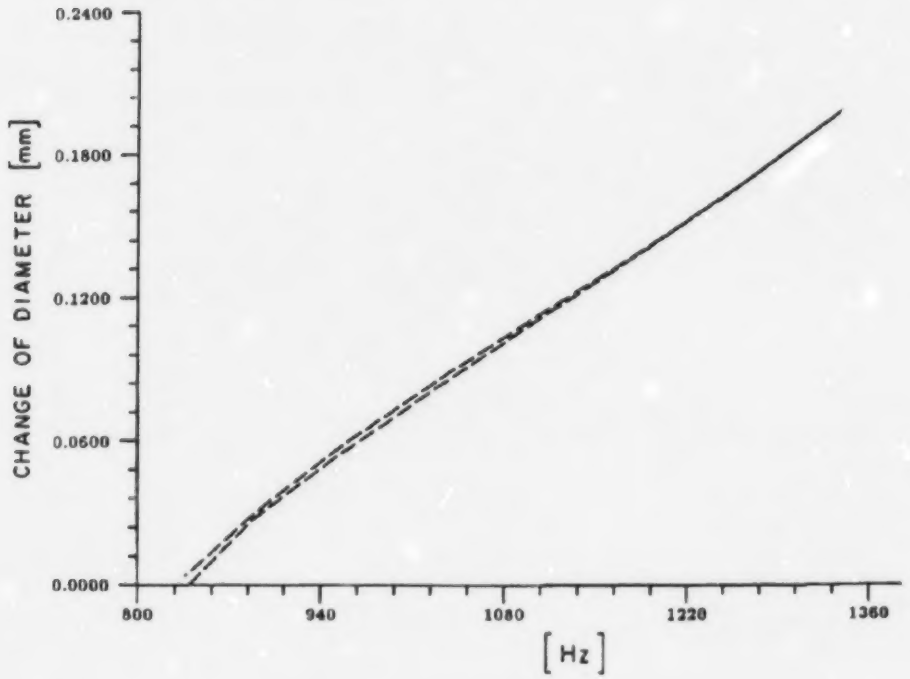

Figure 2: Calibration curve for strain sensor

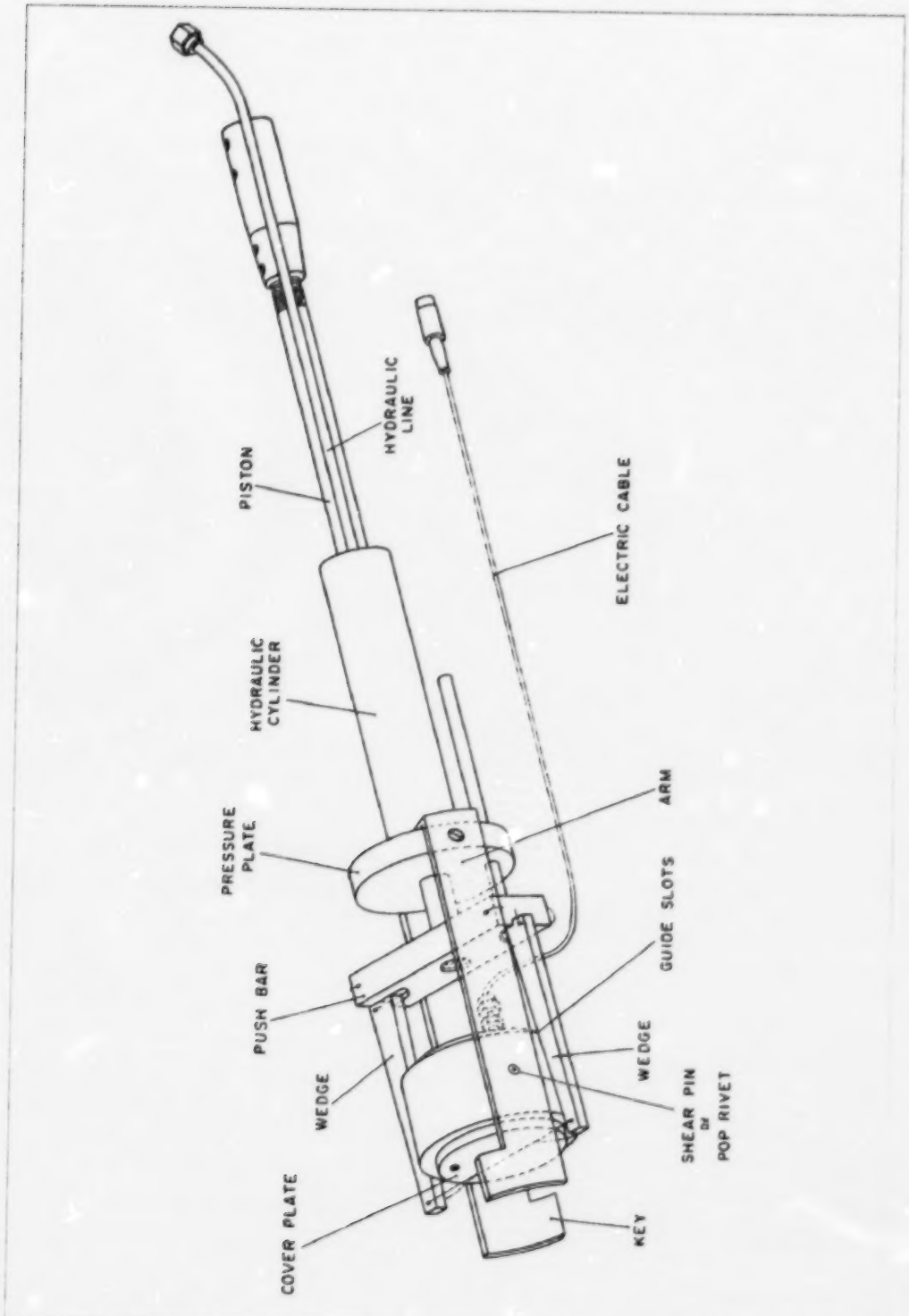

Figure 3: Installation-retrieval tool

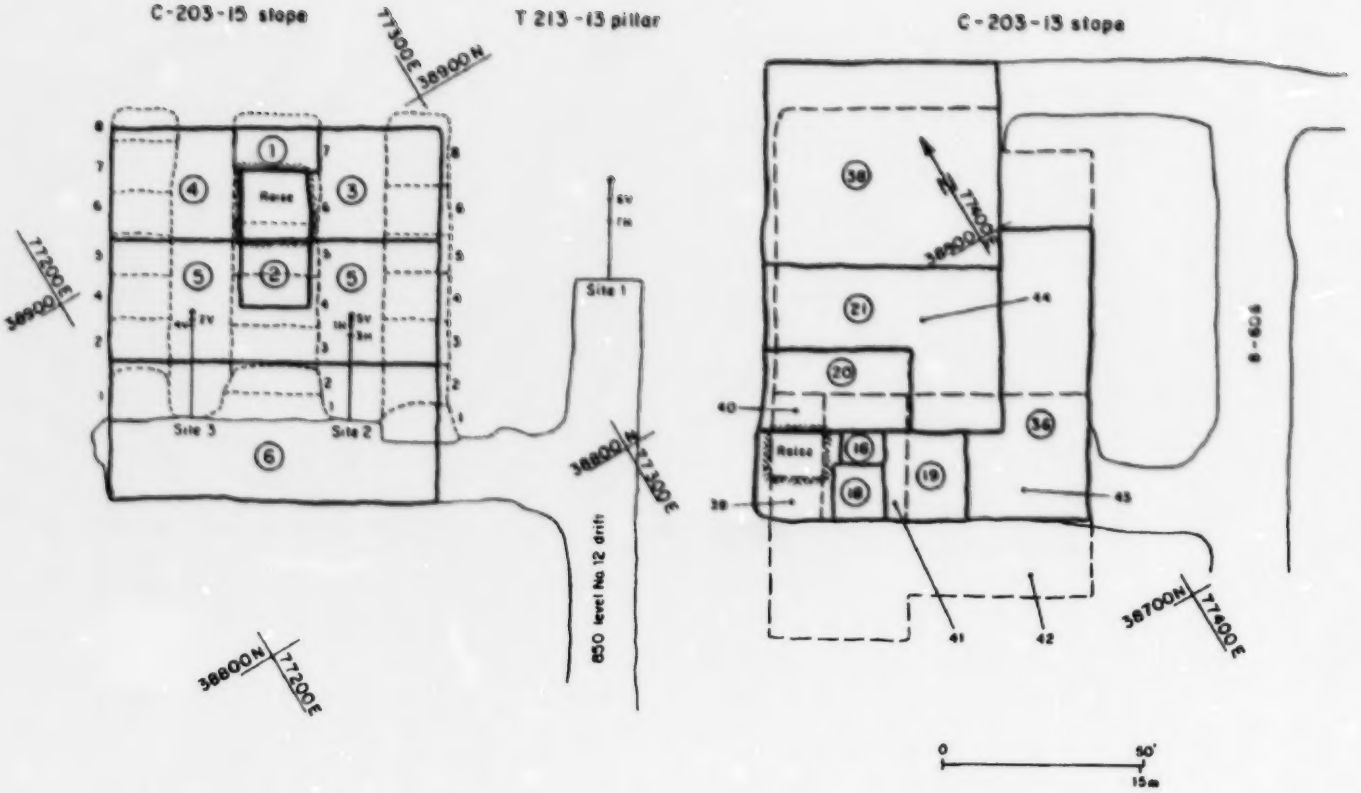

Figure 4: Blasting sequence for C-203-15 and C-203-13 stopes on 850 level

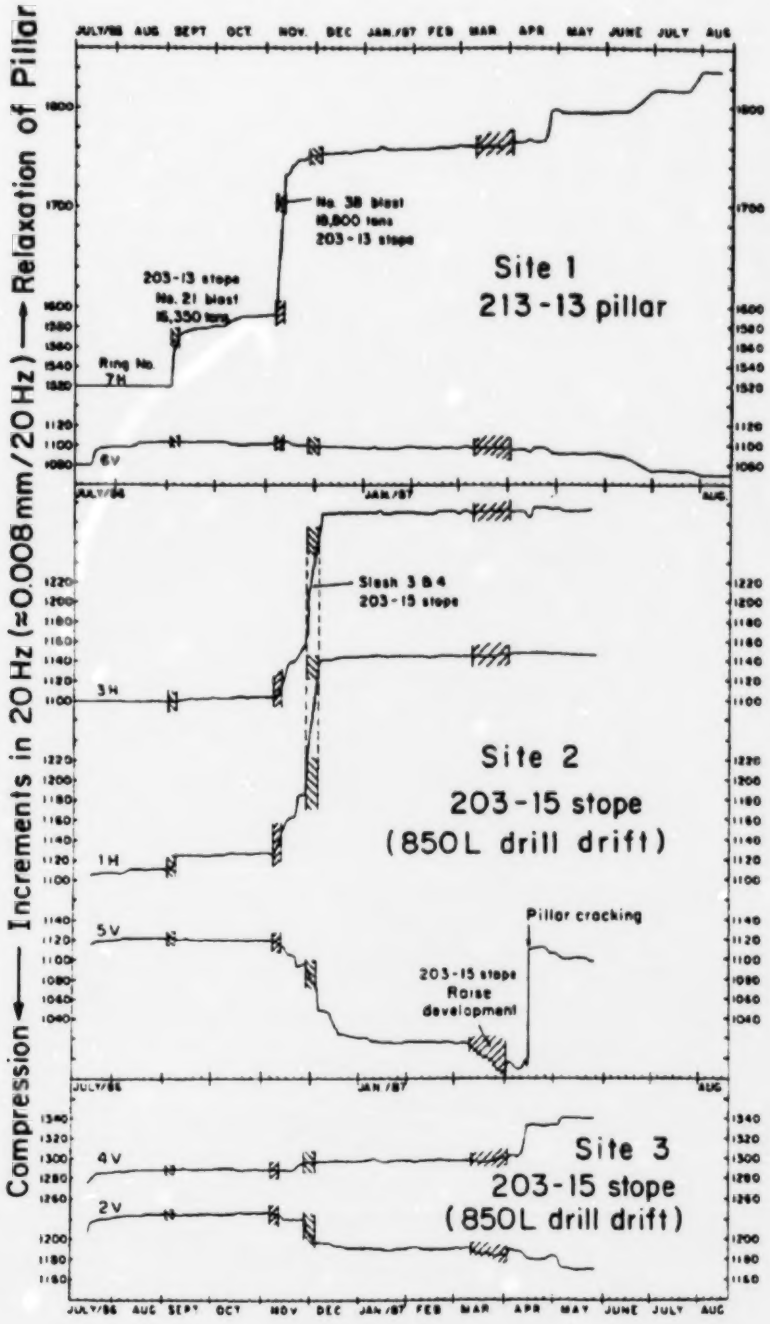

Figure 5: Field records of strain monitoring

CANMET

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Instrument de mesure et d'enregistrement automatiquedes contraintes d'exploitation à la mine Niobec

G. Herget et F. Kapeller
Laboratoire canadien de technologie minière
Laboratoires de recherche minière

Rapport spéciale de CANMET SP89-3F

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada

Canada

L'ENERGIE DE NOS RESSOURCES · NOTRE FORCE CREATRICE

THE ENERGY OF OUR RESOURCES · THE POWER OF OUR IDEAS

Instruments de mesure et d'enregistrement automatiques des contraintes d'exploitation à la mine Niobec

G. Herget et F. Kapeller
Laboratoire canadien de technologie minière
Laboratoires de recherche minière

Rapport spécial de CANMET
SP89-3F

Octobre 1989

MICROMEDIA

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1990

En vente au Canada par l'entremise des

librairies associées
et autres librairies

ou par la poste au :

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

N° de catalogue : M38-15/1989-3F
ISBN 0-660-55787-8

Instruments de mesure et d'enregistrement automatiques des contraintes d'exploitation à la mine Niobec

par

G. Herget* et F. Kapeller**

Résumé

Le besoin de mesurer l'effet des changements qui se produisent dans les contraintes d'exploitation minière en roche dure se fait ressentir depuis de nombreuses années. Les Laboratoires de recherche minière de CANMET (LRM) ont mis au point un nouvel instrument qui mesure avec précision les déformations radiales dues au forage. L'appareil de mesure des contraintes développé par les LRM, d'une grande sensibilité et précision, est basé sur le principe de rendement à long terme des capteurs à cordes vibrantes. Il est utilisé pour mesurer les déformations des trous de sondage relativement importants, comme par exemple, ceux dont le diamètre va de 76 à 153 mm (2,98 à 6 po).

L'unité de CANMET consiste en un anneau dynamométrique relativement gros, auquel est fixé un fil vibrant; le fil vibre à une fréquence de 600 à 1 800 Hz.

L'anneau est mis en place à l'aide d'un piston hydraulique et mis en contact avec la roche encaissante par l'intermédiaire de cales guidées, usinées avec grande précision. La résolution du système est de l'ordre de 4 x 10-4 mm/Hz. La collecte des données est effectuée au moyen d'une unité d'affichage portative ou d'une unité d'enregistrement en continu.

Le système a été mis a l'essai en collaboration avec le Centre de recherches minérales, à la mine Niobec, au Québec. L'essai a été mené en vue de mesurer les effets du percement de galeries sur les contraintes dans le sol adjacent.

En premier lieu, on a percé des trous d'un diamètre de 153 mm (6 po) afin de déterminer les contraintes *in situ*. L'appareil de mesure des contraintes des LRM a ensuite été mis en place dans les trous. La réaction du pilier C-203-13 a démontré de façon non équivoque, l'effet de l'abattage et du sautage sur la distribution des contraintes dans le sol.

Mots clés : contraintes induites, mesure de grande précision; contraintes de forage.

---

*Chercheur scientifique et **Technicien, Laboratoire canadien de technologie minière, Laboratoires de recherche minière, CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada, OTTAWA (Ontario) K1A 0G1.

Table des matières

Résumé i
Introduction 1
Appareil de mesure des contraintes des LRM 1
Le capteur à corde vibrante 1
Étalonnage en laboratoire 2
Système de mise en place 2
Dispositif d'affichage 3
Essai sur le terrain 3
Réaction du pilier de mine T-213-13 4
Réaction du pilier de la galerie de forage 4
Synthèse 5
Remerciements 5
Bibliographie 5

Figures

1. Appareil de mesure des contraintes LRM 6
2. Courbe d'étalonnage du capteur de contraintes 6
3. Outil de mise en place et d'extraction 7
4. Séquence de tir des chantiers C-203-15 et C-203-13 au niveau 850 8
5. Enregistrements graphiques des mesures de contrainte 9

Introduction

La mesure de la déformation élastique des parois d'excavation au cours des opérations minières a souffert, pendant plusieurs années, du manque d'instruments assez fiables et sensibles pour enregistrer les déformations plutôt infimes dans la roche dure.

Les Laboratoires de recherche minière (LRM) ont conçu un anneau relativement rigide pour des trous de diamètre allant de 76 à 153 mm (2,98 à 6 po). L'anneau est basé sur le principe du rendement à long terme des capteurs à corde vibrante. Dans les parties qui suivent, nous décrirons l'ensemble mécanique formé par l'anneau de mesure des contraintes LRM et l'équipement périphérique nécessaire à la mise en place et à l'affichage. Nous avons également inclus un court rapport portant sur le rendement de l'équipement utilisé.

Appareil de mesure des contraintes des LRM

La figure 1 illustre l'appareil de mesure des contraintes des LRM, composé du capteur à corde vibrante et de l'unité d'affichage.

Le capteur à corde vibrante

Le capteur à corde vibrante consiste en un anneau d'acier auquel est fixé un fil métallique vibrant avec un excitateur pour relever la fréquence de résonance du fil métallique. Cette fréquence de résonance change à mesure que l'anneau se déforme et la longueur du fil est modifiée (allongement ou rétrécissement).

Grâce à leur stabilité jusqu'à 1 Hz, l'excitateur et le dispositif d'affichage permettent de capter des déformations de l'ordre de 0,0004 mm (0,0001 po). Dans le cas d'un trou de sonde de 153 mm (6 po), la résolution est de l'ordre de 0,000003. Ces trous de sonde servent régulièrement pendant les essais de surcarottage à déterminer les contraintes imposées au sol. Le capteur est un dispositif d'enregistrement des déformations, mais il peut être étalonné pour mesurer les charges ou contraintes imposées à des types de roches particuliers.

La corde vibrante est une corde à piano, de très grande résistance, qui est solidement retenue dans l'anneau dynamométrique. La corde doit être retenue de façon à produire une vibration nette et de sorte qu'il ne se produise aucun fluage en ses points d'attache à l'anneau. La force de traction typique imposée à la corde à piano se situe entre 22 et 66 N (5 et 15 lb).

Les anneaux de mesure des contraintes LRM sont pourvus de dispositifs de retenue mécaniques.

On a établi les dimensions de l'anneau à l'aide d'un certain nombre de solutions analytiques complètes et d'une analyse par la méthode des éléments finis, dans le but d'obtenir les caractéristiques suivantes :

1. des pressions de contact élevées pour assurer la fiabilité des mesures et une bonne résistance aux vibrations causées par les explosions;

2. un capteur installé ayant des propriétés de déformation uniformes (aucun risque de torsion ni de mauvais alignement);

3. un anneau dont la rigidité est moindre que celle de la roche;

4. une déformation de la corde vibrante inférieure à la limite élastique des cordes à piano;

5. une bonne résolution pour la mesure de la déformation élastique de la roche dure (par exemple, plus de 0,001 mm/Hz); et

6. des dimensions suffisamment grandes pour permettre la récupération des instruments après usage.

Les résultats les plus quantitatifs ont été obtenus par analyse, par la méthode des éléments finis. Pour une mise en place dans un trou de 153 mm (6 po) de diamètre, on a choisi un diamètre extérieur de 127 mm (5 po) et un diamètre intérieur de 89 mm (3,5 po). On avait anticipé qu'un anneau en acier trempé subirait une déformation d'environ 0,38 mm (0,015 po) sous une charge de 50 kN (11 240 lb) et qu'une pression de mise en place d'environ 18 kN (4 047 lb) modifierait la fréquence de la corde vibrante d'environ 200 Hz.

Les pressions de mise en place élevées se sont avérées bénéfiques. Elles ont permis l'élimination des petites aspérités sur la paroi du trou de forage et la réalisation d'un contact intime rendant le montage résistant aux forces d'accélération engendrées par le tir.

La figure 1 illustre les deux rainures usinées dans l'anneau de mesure, sur son diamètre. Ces rainures, d'une conicité de 3°, sont conçues pour recevoir des cales indépendantes. Pendant le déplacement des cales le long de l'anneau, la surface externe des cales reste toujours parallèle à l'axe du trou de forage. La figure 1 fournit les dimensions des cales et des rainures. Un outil de mise en place, décrit plus loin, permet de déplacer ces cales. Des pressions de mise en place élevées et le guidage précis des cales de contact font en sorte que les anneaux fournissent des mesures aussi précises sur le terrain qu'en laboratoire.

Étalonnage en laboratoire

Afin de vérifier les hypothèses et calculs, un anneau en acier trempé a été fabriqué à la Division de l'ingénierie et des services techniques de CANMET pour ensuite être éprouvé aux Laboratoires de recherche minière. On a rattaché à l'anneau un excitateur pour faire vibrer le fil métallique et relever sa fréquence de résonance. L'excitateur est décrit dans un autre rapport.

Sous une charge de 50 kN (11 240 lb), l'anneau prototype a subi une déformation d'environ 0,25 mm (0,01 po) sur son diamètre. La figure 2 illustre les résultats de l'étalonnage de l'anneau à corde vibrante de mesure des contraintes.

Système de mise en place

L'anneau est mis en place à l'aide d'un piston hydraulique. Celui-ci actionne une barre qui pousse les cales le long des rainures pendant que deux bras métalliques maintiennent en place la corde vibrante. Des vis à tête fraisée relient les bras métalliques à l'anneau. Lorsque la pression de mise en place requise est atteinte, ces vis métalliques sont cisaillées et l'anneau se dégage de l'outil de mise en place qui peut ensuite être retiré. La pression requise pour la mise en place des anneaux détermine la nature du matériau constitutif et le diamètre des vis de fixation. Dans de nombreux cas, l'emploi de vis en laiton s'est avéré efficace. L'outil de mise en place est illustré dans la figure 2.

Grâce à la façon dont les anneaux sont mis en place et à leur grande dimension, la corde vibrante pourra être récupérée après usage. À cette fin, les bras de l'outil de mise en place sont munis d'une clé de raccordement aux cales d'un anneau déjà installé. La barre d'espacement qui remplace la barre d'entraînement pousse sur l'anneau d'acier. La mise en marche de la pompe à pression hydraulique produit le retrait des cales, alors que l'anneau est maintenu en place. Une fois que les cales sont écartées, on peut tirer l'anneau au moyen du câble électrique. Les anneaux peuvent être étalonnés de nouveau en laboratoire pour être remis en place ailleurs.

Une façon plus simple de récupérer les capteurs consiste à dégager l'anneau de l'emprise des cales en appuyant très fort un long élément de forage contre l'anneau, ce qui dégagera l'anneau des cales. L'anneau, comme il a été mentionné précédemment, peut être récupéré en tirant le câble électrique.

Dispositif d'affichage

Le circuit d'oscillateur employé pour faire vibrer le fil métallique est enfermé dans l'anneau. La consommation de courant est inférieure à 30 mA pour une oscillation continue. Un dispositif d'affichage portatif, un peu plus grand qu'une calculatrice de poche, fournit l'affichage de la fréquence (figure 1). Les dispositifs commerciaux d'enregistrement automatique des données, tel le Grant Squirrel 1201 (42 k de mémoire), ont été utilisés pendant plusieurs semaines pour l'enregistrement des mesures à la mine Creighton d'Inco et ils se sont avérés efficaces.

L'excitateur, le dispositif d'affichage et le conditionneur destinés à l'enregistrement automatique des mesures ont été fabriqués initialement par la Section d'instrumentation des LRM.

Un nouvel enregistreur, capable d'accepter des données provenant de quatre voies de fréquence, a récemment été mis au point par la Richard Brancker Research Ltd. d'Ottawa. Le dispositif est logé dans un tuyau métallique de 58 mm (2,25 po) de diamètre et de 533 mm (21 po) de longueur. L'appareil, qui est étanche, est placé dans le trou de forage où s'effectuent les mesures.

Essai sur le terrain

Souvent un appareil qui fonctionne à merveille en laboratoire révèle ses faiblesses lorsqu'il est utilisé dans un environnement moins stable, comme un chantier de construction ou une mine.

On a mis en place, à des fins expérimentales, six anneaux à la Mine Niobec, dans des trous de forage de 153 mm (6 po) de diamètre, qui avaient déjà servis à la mesure des contraintes subies par le sol. La mine Niobec est située à environ 380 km (235 mi) au nord-est de Montréal, Québec. On y produit environ 1 500 t de minerais chaque jour en exploitation à chambres vides, dans des trous de mine sans rail. La mine produit de l'oxyde de niobium à partir d'un bouchon de carbonatite.

La largeur des piliers standard est d'environ 25 m (82 pi) suivis de chambres de 25 m (82 pi). Les chambres mesurent jusqu'à 60 m (197 pi) de longueur, de l'éponte supérieure à l'éponte inférieure et 100 m (328 pi) de hauteur.

Les anneaux ont été mis en place dans le pilier T-213-13 et dans la saignée supérieure de la chambre C-203-15, au niveau 850, à environ 265 m (870 pi) sous la surface. La méthode de mise en place est illustrée dans la figure 4. L'objectif était de vérifier si le tir dans des chambres avoisinantes (C-203-13), ainsi que la préparation de chambres dans la saignée pour le montage des foreuses de production, au niveau 850 dans le cas de la chambre C-203-15, provoqueraient des variations de contrainte mesurables.

Les relevés aux sites 2 et 3 ont commencé le 15 juillet 1986 et se sont poursuivis jusqu'à la disparition des sites suite à une opération de tir de production. Les anneaux ont été récupérés avant le tir. Les relevés au site 1 se sont poursuivis jusqu'en mars 1988 dans le pilier principal (T-213-13).

La figure 5 montre les résultats des principales opérations minières qui ont provoqué des déformations dans les trous de forage. Les relevés sont uniques. Les instruments ont fourni des mesures constantes lorsqu'il n'y avait aucune activité dans la mine et des réponses cohérentes lorsque les opérations de tir modifiaient la géométrie de l'excavation. Bien que le but du présent rapport ne soit pas d'interpréter les déformations du sol, voici quelques points saillants.

Réaction du pilier de mine T-213-13

On a installé un anneau à la verticale et un anneau à l'horizontale dans le trou de forage de 153 mm (6 po). Les deux instruments de mesure ont fonctionné de façon ininterrompue pendant toute la période de relevés. La réponse la plus significative a été relevée entre le 6 et le 11 novembre 1988; elle indiquait une augmentation du diamètre de 148 Hz (= 0,053 mm) (0,002 po) dans la direction horizontale et de 2,0 Hz (= 0,0008 mm) (0,00003 po) dans la direction verticale. Cette réaction a été provoquée par le tir nº 38 effectué en vue de l'extraction de 18 800 t de minerais dans la chambre T-203-13. Le tir s'est produit dans le sens opposé à l'emplacement des anneaux et s'étendait du niveau 1 000 au niveau 850. Une perte d'environ 10,8 MPa (1 566 psi) dans le confinement horizontal et de 8,7 MPa (1 262 psi) dans la direction verticale, a été enregistrée à l'emplacement des anneaux.

Réaction du pilier de la galerie de forage

Les sites 2 et 3 se trouvaient dans la saignée supérieure de la chambre C-203-15, préparée pour la mise en place de l'équipement de forage de production. Les chambres ont été séparées par des piliers et les capteurs à corde vibrante ont été placés dans l'axe des piliers. La réaction la plus marquée a été relevée entre le 26 novembre et le 5 décembre 1986. Les anneaux 1 et 3 ont été installés au site 2 pour la mesure et l'enregistrement dans la direction horizontale. L'anneau 1 a enregistré une expansion de 134 Hz (= 0,054 mm) (0,0021 po) et l'anneau 2, une expansion de 124 Hz (= 0,05 mm) (0,0019 po). La réaction dans la direction verticale au site 2 correspondait à une compression équivalente à -44 Hz (= -0,018 mm) (-0,0071 po). Un examen des rapports de tir a permis d'identifier la cause de la réaction : les sillons 3 et 4, dans la saignée supérieure de la chambre C-203-15, à l'opposé de l'emplacement des instruments de mesure, au niveau 850 (figure 5). Ces rapports indiquent une relaxation de 8,4 MPa (1 218 psi) dans la direction horizontale et une mise en charge de seulement 0,07 MPa (10 psi) dans la direction verticale.

Les capteurs du site 3 étaient réservés à la mesure de la déformation verticale. L'anneau 4 n'indiquait aucune réponse aux taillades 3 et 4, alors que l'anneau 2 indiquait une compression verticale de 24 Hz (= 0,01 mm) (0,00039 po). Tous les anneaux de mesure dans la direction verticale ont enregistré, soit une charge constante, ou une relaxation pendant l'avancement des opérations minières.

Synthèse

Les mesures obtenues sur le terrain, grâce aux nouveaux instruments, étaient exceptionnelles. Les calculs effectués pour déterminer la déformation au niveau du diamètre des trous de forage ont produit des valeurs se situant confortablement à l'intérieur des limites d'élasticité. La relaxation dans la direction horizontale a été immédiate et correspondait directement à la perte de confinement. Aucune mise en charge constante n'a été relevée dans la direction verticale pendant l'avancement des opérations minières, ce qui est contraire aux variations de contraintes anticipées pour la surface de captage effectif. Les données ont également démontré que la redistribution des contraintes en trois dimensions est plus complexe que celle déduite par la surface de captage effectif. Les directions de mesure utilisées ne sont toutefois pas suffisantes pour pouvoir définir les variations de contraintes en trois dimensions.

Remerciements

L'étude faisait partie d'un projet de recherche en mécanique des roches, réalisé en collaboration avec le Centre de Recherches Minérales et la Mine Niobec. Nous désirons remercier le personnel de Niobec de sa collaboration et de l'effort soutenu qu'il a mis à noter toutes les mesures relevées sur le terrain et toutes les activités minières. Sans ce travail consciencieux, il nous aurait été impossible de réunir la présente base de données.

Bibliographie

Arjang, B. *Field stress determinations at the Niobec Mine, Chicoutimi, Québec*. Rapport de Division M&ET/LRM 87-15 (TR).

Gagnon, G. et L.A. Gendron. *The geology and current development of the St. Honoré Niobium (Columbium) deposits*. 79e Réunion générale annelle de l'ICM, le 20 avril 1977.

Herget, G. and F. Kapeller. *Monitoring of borehole deformation at Niobec Mine: rapport périodique*. Rapport de Division LRM 87-6 (TR).

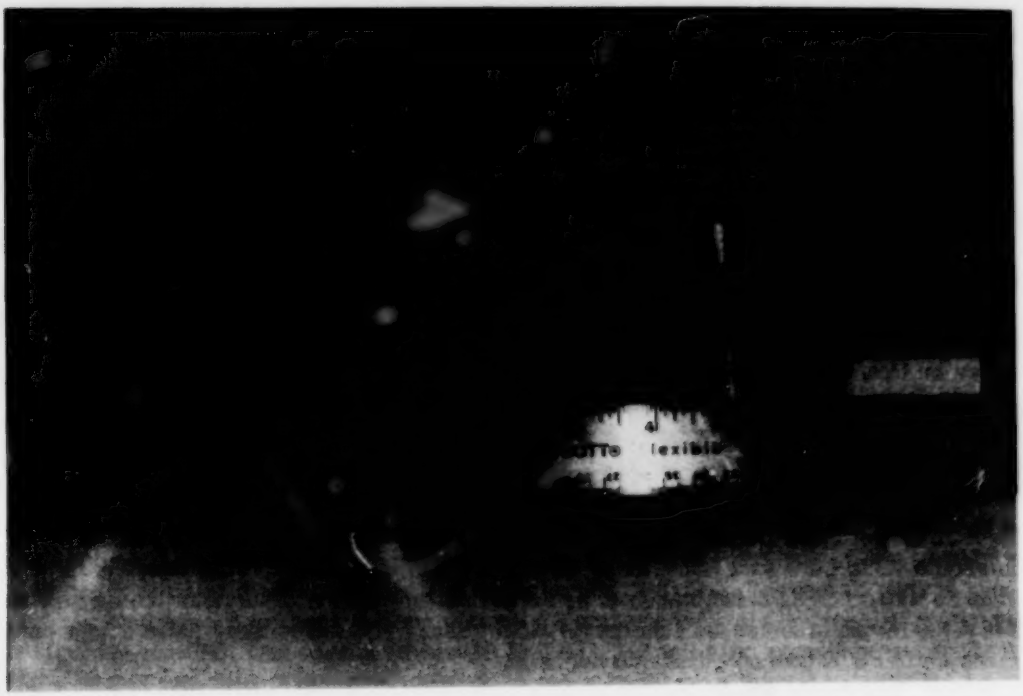

Figure 1 : Instrument de mesure des contraintes des LRM

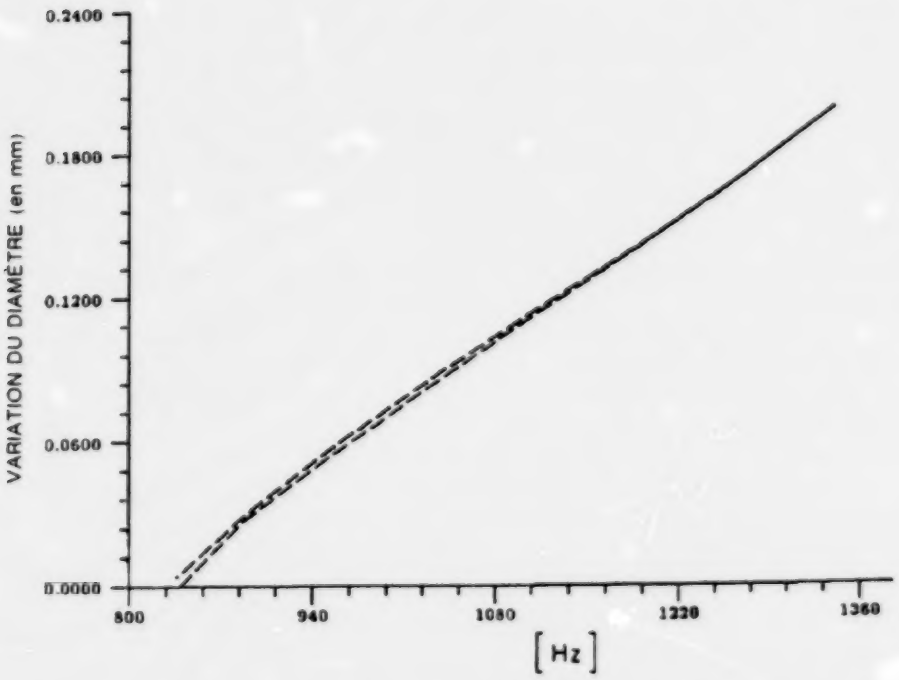

Figure 2 : Courbe d'étalonnage du capteur de contraintes

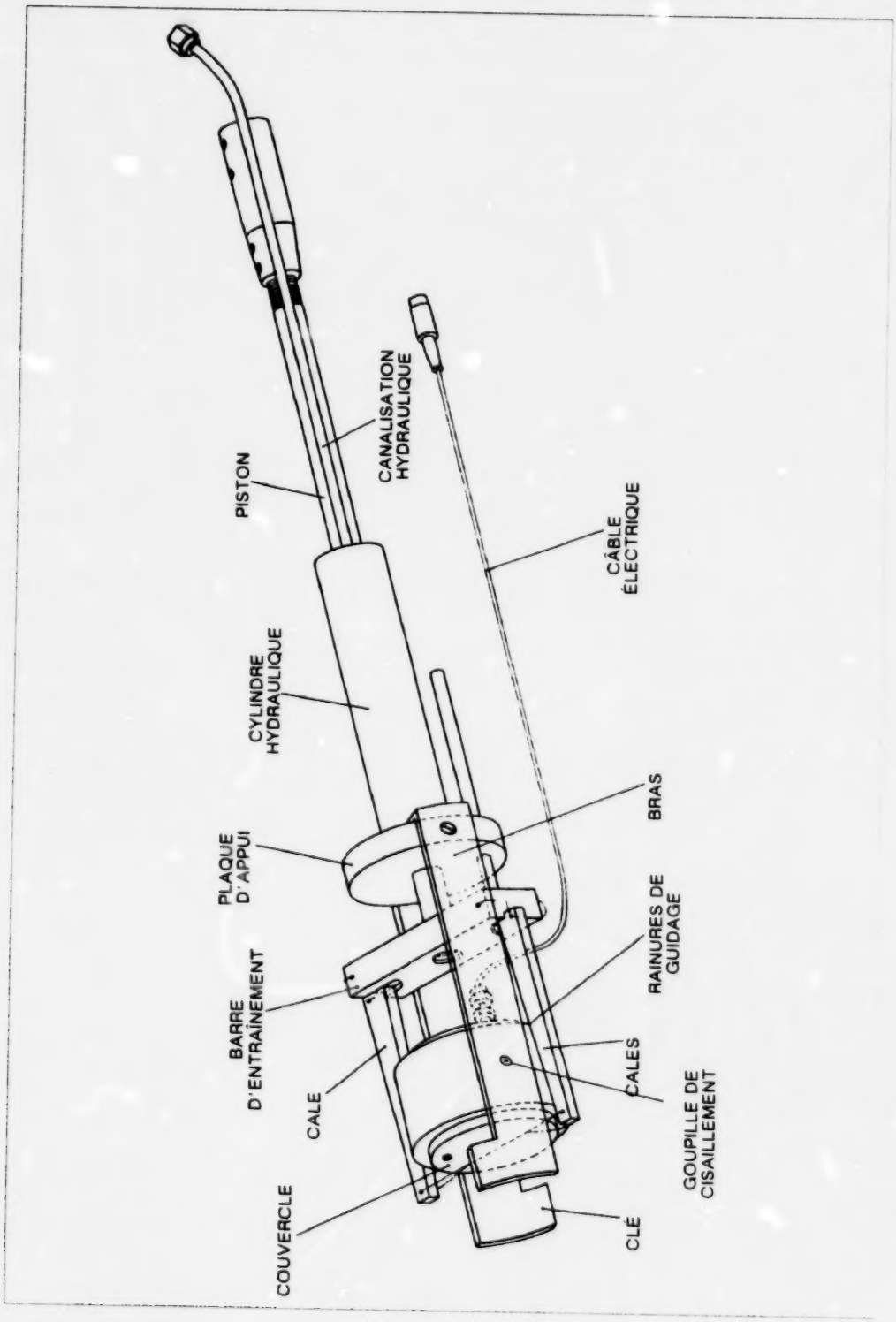

Figure 3 : Outil de mise en place et d'extraction

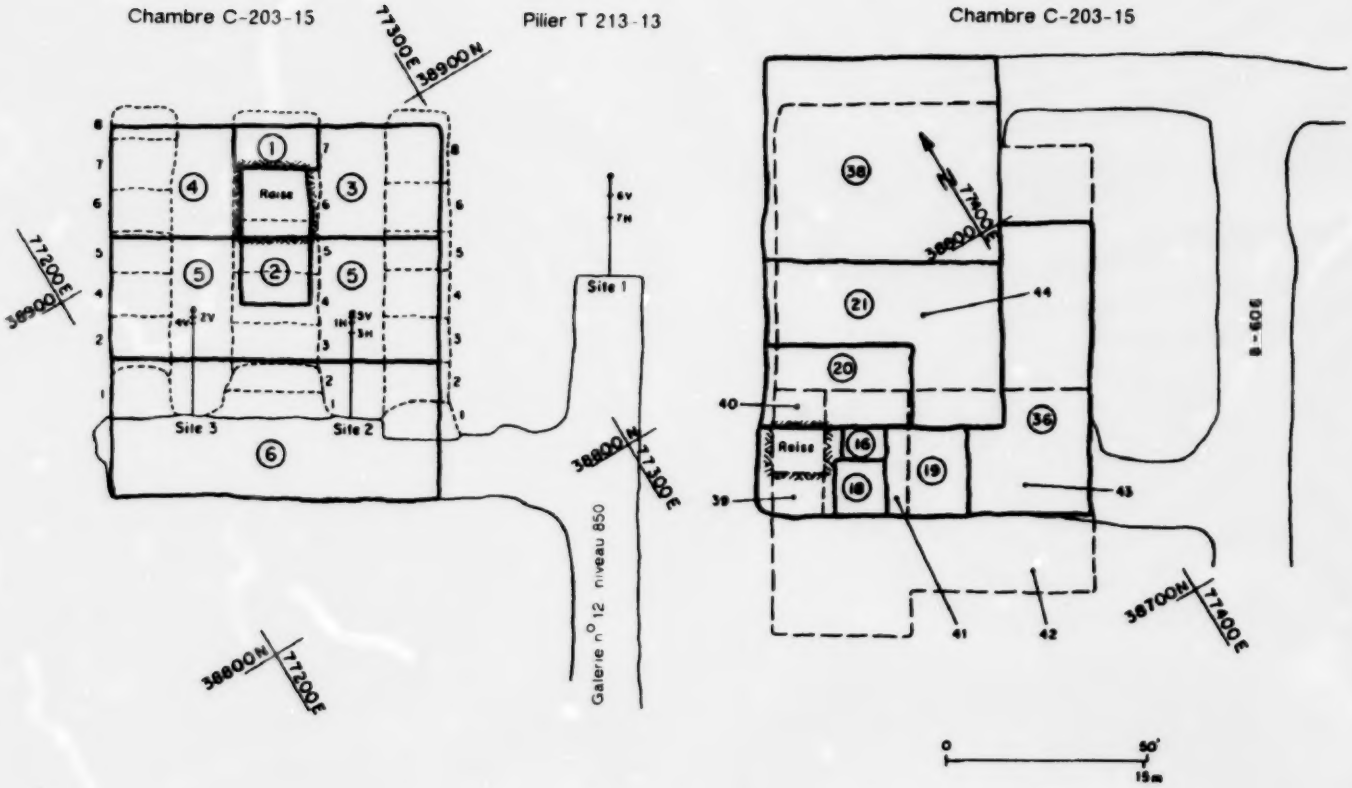

Figure 4 : Séquence de tir des chantiers C-203-15 et C-203-13, au niveau 850

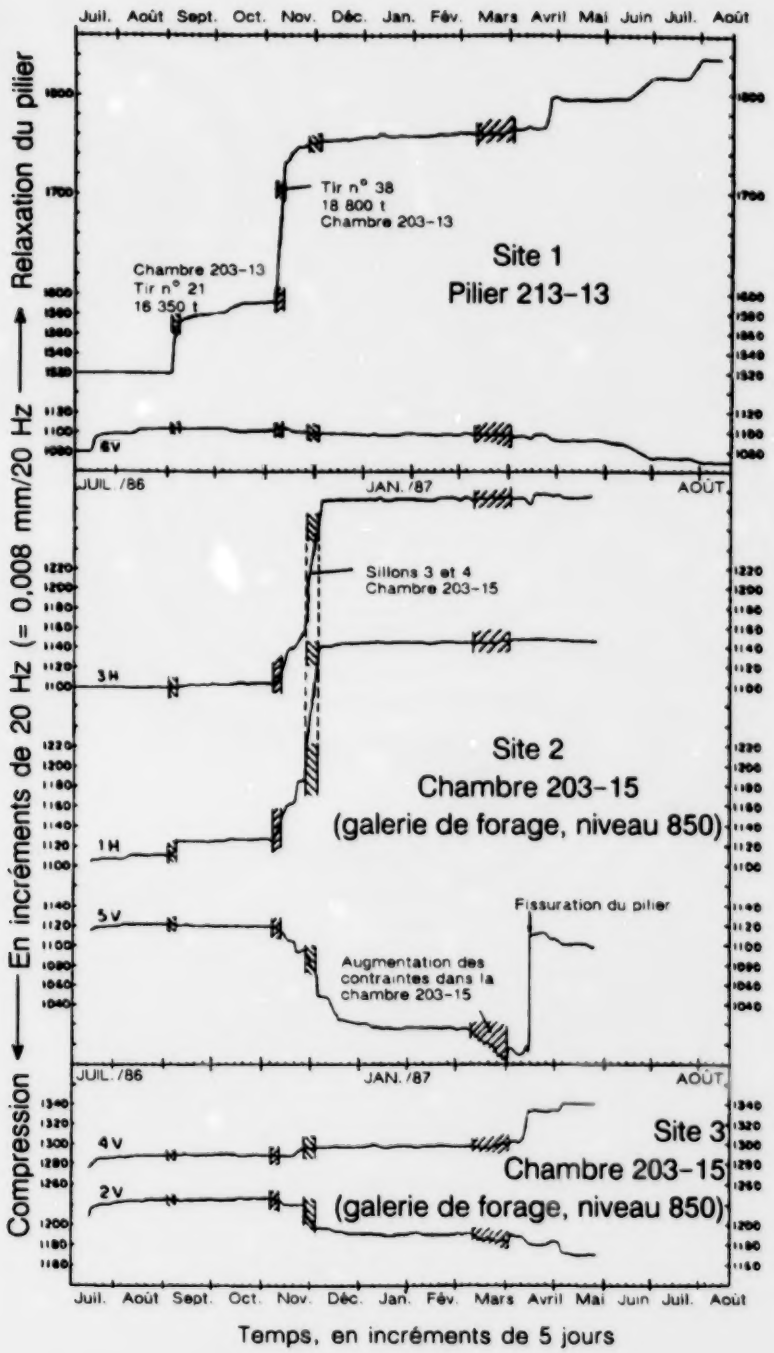

Figure 5 : Enregistrement graphique des mesures de contraintes